



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 19 269.7

**Anmeldetag:** 25. April 2003

**Anmelder/Inhaber:** Carl Zeiss Microelectronic Systems GmbH,  
Jena/DE

**Bezeichnung:** Abbildungssystem für ein, auf extrem ultravioletter  
(EUV) Strahlung basierendem Mikroskop

**IPC:** G 02 B, G 21 K

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 07. August 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, likely belonging to the President of the German Patent and Trade Mark Office. The signature is stylized and cursive.

Klostermeyer

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

## Zusammenfassung

Abbildungssystem für ein, auf extrem ultravioletter (EUV) Strahlung basierendem Mikroskop

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein reflektives Abbildungssystem für ein Röntgenmikroskop zur Untersuchung eines Objektes in einer Objektebene, wobei das Objekt mit Strahlen einer Wellenlänge  $< 100 \text{ nm}$ , insbesondere  $< 30 \text{ nm}$  beleuchtet und in eine Bildebene vergrößert abgebildet wird.

10

Bei dem erfindungsgemäßen Abbildungssystem für ein, auf extrem ultravioletter (EUV) Strahlung basierendem Mikroskop mit Wellenlängen im Bereich  $< 100 \text{ nm}$ , mit einer Vergrößerung von  $0,1 - 1000\times$  und einer Baulänge  $< 5 \text{ m}$ , weist mindestens eines der im Strahlengang vorhandenen abbildenden optischen Elemente eine diffraktiv-reflektive Struktur auf, die auf einer sphärischen oder einer planen Grundfläche aufgebracht ist und über eine nicht rotationssymmetrische, asymmetrische Form verfügt.

15

Mit der erfindungsgemäßen Anordnung wird ein Abbildungssystem zur Verfügung gestellt, welches die im Stand der Technik bekannten Nachteile vermeidet und eine hohe Abbildungsgüte gewährleistet. Der Fertigungsaufwand bleibt durch die ausschließlich Verwendung sphärischer Spiegel vertretbar.

20

25

Abbildungssystem für ein, auf extrem ultravioletter (EUV) Strahlung  
basierendem Mikroskop

Die vorliegende Erfindung betrifft ein reflektives Abbildungssystem für ein  
5 Röntgenmikroskop zur Untersuchung eines Objektes in einer Objekzebene,  
wobei das Objekt mit Strahlen einer Wellenlänge  $< 100 \text{ nm}$ , insbesondere  $< 30 \text{ nm}$   
beleuchtet und in eine Bildebene vergrößert abgebildet wird.

Die mikroskopische Untersuchung von Objekten mit Röntgenstrahlung wird vor  
10 allem in der Halbleiterindustrie immer wichtiger. Kleinere Strukturgrößen  
fordern konsequenterweise immer höhere Auflösungen, welche nur durch eine  
Verkürzung der Untersuchungswellenlänge erreicht werden kann. Besonders  
wichtig ist dies bei der mikroskopischen Inspektion von Masken für den  
Lithographieprozess. Dabei stellt die Lithographie mit extrem ultravioletter  
15 (EUV) Strahlung die aussichtsreichste Lösung für die Chipfertigung in den  
nächsten Jahren dar.

Nach dem Stand der Technik sind zahlreiche verschieden technische Lösungen  
zu Röntgenmikroskopen bekannt.

20 Die Anmeldungen US 5,222,113; US 5,311,565; US 5,177,774 und  
EP 0 459 833 zeigen Röntgenstrahlmikroskope, bei denen in der  
Projektionsoptik Zonenplatten für die Abbildung vorgesehen sind. Bei diesen  
Fresnelschen Zonenplatten handelt es sich um ein wellenoptisch abbildendes  
25 Element, bei dem das Licht an einem System aus konzentrisch angeordneten  
Kreisringen gebeugt wird. Der Nachteil der Verwendung von Fresnelschen  
Zonenplatten in den abbildenden Systemen mit mehreren optischen Elementen  
im Bereich der Röntgenstrahlung ist darin zu sehen, dass Fresnelsche  
Zonenplatten transmittive Bauteile sind, die aufgrund der schlechten  
30 Transmission im Röntgenbereich zu großen Lichtverlusten führen.

Die US-Patente US 5,144,497, US 5,291,339 und US 5,131,023 betreffen

Röntgenstrahlmikroskope bei denen Schwarzschild-Systeme als abbildende Systeme verwendet werden. Bei diesen Röntgenstrahlmikroskopen sind die Strahlengänge am zu untersuchenden Objekt telezentrisch ausgelegt, was eine Abbildung von Objekten in Reflexion erschwert.

5

Ein weiterer Nachteil derartiger Systeme für einen Einsatz zur Untersuchung von Objekten, insbesondere solchen, die im Bereich der Röntgenlithographie Verwendungen finden, ist deren große Baulänge zur Erzielung eines ausreichenden Abbildungsmaßstabes. Dies erschwert die Verwendung beispielsweise in Inspektionssystemen zur Untersuchung von Masken in EUV-Projektionsbelichtungsanlagen.

10

Aus US 6469827 und US 5022064 sind die Verwendung von diffraktiven Elementen zur spektralen Selektierung durch Beugung von Röntgenstrahlung bekannt. In beiden Schriften werden diese Elemente aber nur zur spektralen Aufspaltung und Selektierung von Röntgenstrahlung und nicht zur Korrektur oder Verbesserung von Abbildungseigenschaften verwendet. Auch dieses System ist am Objekt telezentrisch ausgelegt, was eine Abbildung von Objekten in Reflexion erschwert.

15

20

Die Verwendung eines diffraktiven optischen Element mit brechungsverstärkender und achromatisierender Wirkung für ein Objektiv, insbesondere ein Mikroskopobjektiv wird in der DE-OS 101 30 212 beschrieben. Ein derartiges Objektiv ist aber für die EUV-Strahlung aufgrund der transmittiven optischen Elemente nicht einsetzbar. Da die EUV-Strahlung im Gegensatz zur UV-Strahlung in nahezu allen Materialien sehr stark absorbiert wird, ist die Verwendung von auf Transmission beruhenden optischen Bauelementen nicht möglich.

25

Ein reflektives Röntgenstrahlmikroskop zur Untersuchung eines Objektes für die Mikrolithographie in einer Objekzebene mit Strahlung einer Wellenlänge  $< 100 \text{ nm}$ , insbesondere  $< 30 \text{ nm}$ , ist aus der JP 2001116900 bekannt. Das in

30

dieser Anmeldung offenbarte Röntgenstrahlmikroskop ist ein Schwarzschild-System mit einem konkaven ersten Spiegel und einem konvexen zweiten Spiegel. Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Systemen ist der Strahlengang zur Untersuchung des Objektes am Objekt nicht telezentrisch, so  
5 dass eine Untersuchung in Reflexion, beispielsweise von EUV-Reflexionsmasken, ermöglicht wird. Nachteilig an diesem System ist die sehr große Baulänge um große Abbildungsmaßstäbe zu erzielen.

Eine weitere Röntgenmikroskopische Anordnung ist beispielsweise in den  
10 Anmeldungen DE 102 20 815 und DE 102 20 816 beschrieben. Darin ist die Abbildungsoptik als rein reflektives System ausgelegt und hinsichtlich geringer Baulänge bei hohen Vergrößerungen optimiert. Dies wird u. a. durch die Verwendung stark asphärischer Spiegel erreicht. Nachteilig bei diesen Anordnungen ist, dass die Fertigungstoleranzen für die asphärischen Spiegel  
15 zum Erreichen einer hohen Bildgüte extrem anspruchsvoll sind und daher hohe Anforderungen an die Fertigungstechnologie und Messtechnik zu stellen sind.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde ein Abbildungssystem für ein Röntgenmikroskop zu entwickeln, welches die im Stand der Technik  
20 bekannten Nachteile vermeidet. Weiterhin soll dabei eine hohe Abbildungsgüte bei einem vertretbaren Fertigungsaufwand erreicht werden.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Bevorzugte Weiterbildungen und Ausgestaltungen sind  
25 Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Das vorgeschlagene Abbildungssystem beinhaltet alle zu einer abbildenden Optik gehörenden optischen Elemente und erzeugt durch die extrem ultraviolette (EUV) Strahlung ein entsprechendes Zwischenbild. Diese kann  
30 durch weitere Abbildungssysteme weiter verarbeitet, d. h. weiter vergrößert werden.

Durch Nutzung einer EUV-Strahlung von 13,5 nm ist das erfindungsgemäße Abbildungssystem beispielsweise in der Photolithographie einsetzbar.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels beschrieben. Dazu zeigen

Figur 1: Strahlenverlauf im ersten Subsystem des Mikroskops,

Figur 2: einen vergrößerten Ausschnitt des Strahlenverlaufes im ersten Subsystem des Mikroskops und

Figur 3: eine schematische Gesamtansicht eines Inspektionssystems für Lithographiemasken, basierend auf EUV-Strahlung.

Bei dem erfindungsgemäßen Abbildungssystem für ein, auf extrem ultravioletter (EUV) Strahlung basierendem Mikroskop mit Wellenlängen im Bereich kleiner 100nm, mit einer Vergrößerung von 0,1 - 100x und einer Baulänge kleiner 5m weist mindestens eines der im Strahlengang vorhandenen abbildenden optischen Elemente 2 und 3 eine diffraktiv-reflektive Struktur auf. Die diffraktiv-reflektive Struktur ist dabei auf einer sphärischen oder einer planen Grundfläche eines oder beider abbildenden optischen Elemente 2 und 3 aufgebracht. Als sphärische Grundfläche sind konkave oder konvexe Krümmungen möglich.

Die diffraktiv-reflektiven Strukturen weisen eine nicht rotationssymmetrische, asymmetrische Form auf. Im speziellen Fall sind die Strukturen in der Meridionalebene (entspricht der Zeichnungsebene) asymmetrisch, senkrecht dazu sind sie symmetrisch. Die diffraktiv-reflektiven Strukturen lassen sich beispielsweise durch folgendes Polynom der Phasenverteilung  $\varphi$  beschreiben:

$$\varphi(x, y) = \sum a_i x^m y^n$$

mit  $x, y$  Koordinaten

$a_i$  Koeffizienten

$i$  Summationsindex

$m, n$  ganze Zahlen.

5

Um eine Gesamtvergrößerung von 5 - 1000x realisieren zu können wird dem ersten Abbildungssystem ein weiteres Abbildungssystem nachgeordnet. Das zweite Abbildungssystem kann dabei auf einer Röntgenabbildung, einer elektro-optischen Abbildung oder einer Abbildung, die eine Strahlung oberhalb 200nm verwendet, basieren. Im einfachsten Fall kann das zweite Abbildungssystem auch ein weiteres abbildendes optisches Element mit einer sphärisch konvexen Grundfläche ohne eine diffraktiv wirkende Struktur sein.

- 15 Das erfindungsgemäße Abbildungssystem ist vorzugsweise für Wellenlängen im Bereich kleiner 30nm, bei einer Vergrößerung von 5 - 1000x und einer Baulänge kleiner 3m vorgesehen.

In einer weiteren Ausgestaltung weist das Abbildungssystem zwei abbildende optische Elemente 2 und 3 mit jeweils einer diffraktiv-reflektiven Struktur auf, wobei das erste abbildende optische Element 2 über eine konkave Grundfläche und das zweite abbildende optische Element 3 über eine konvexe Grundfläche für die jeweilige diffraktiv-reflektive Struktur verfügen. Die abbildenden optischen Elemente 2 und 3 sind so angeordnet, dass sich die optischen Wege einmal kreuzen. Außerdem ist die optische Achse des Abbildungssystems dabei zur Objektnormalen geneigt.

Die abbildenden optischen Elemente 2 und 3 können aber auch so angeordnet sein, dass sich die optischen Wege nicht kreuzen.

30



In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung kann das erfindungsgemäße Abbildungssystem als Basis für ein Inspektionssystem für Lithographiemasken verwendet werden. Für Anwendungen in der Lithographie konzentrieren sich die Arbeiten auf Wellenlängen um 13,5nm, da sich nur hier effiziente Optiken für die erforderlichen Belichtungssysteme herstellen lassen.

Das erste abbildende optische Element 2 mit sphärisch konkaver Grundfläche verfügt dabei beispielsweise über eine diffraktiv-reflektiv wirkende Struktur mit ca. 240 Linien/mm und das zweite abbildende optische Element 3 mit sphärisch konvexer Grundfläche über eine diffraktiv-reflektiv wirkende Struktur mit ca. 660 Linien/mm. Die abbildenden optischen Elemente 2 und 3 sind dabei so angeordnet, dass sich die optischen Wege einmal kreuzen.

In **Figur 1** und **Figur 2** (vergrößerter Ausschnitt) sind die entsprechenden Strahlenverläufe im Abbildungssystem, ausgehend vom zu untersuchenden Objekt 1, über die abbildenden optischen Elemente 2 und 3, bis hin zum erzeugten Zwischenbild 4 dargestellt. Der dargestellte Strahlenverlauf betrifft ein Abbildungssystem für ein, auf extrem ultravioletter (EUV) Strahlung basierendem Mikroskop bzw. einem entsprechenden Inspektionssystem für Lithographiemasken.

**Figur 4** zeigt die schematische Gesamtansicht eines Inspektionssystems für Lithographiemasken, basierend auf EUV-Strahlung.

Die EUV-Strahlung wird im Gegensatz zur UV-Strahlung in nahezu allen Materialien sehr stark absorbiert. Da die Absorptionslänge in Luft bei Normaldruck weit unter 1mm liegt, kann sich die EUV-Strahlung nur im Vakuum über die für die EUV-Lithografie notwendigen Entfernungen nahezu verlustfrei ausbreiten.

Ausgehend von der Strahlungsquelle 5 wird die EUV-Strahlung von der Beleuchtungsoptik 6 auf das Objekt 1 fokussiert. Die vom Objekt 1 reflektierte

5 EUV-Strahlung wird von der Abbildungsoptik 7 als Zwischenbild 4 auf eine Wandlerschicht fokussiert. Das erfindungsgemäße Teilsystem ausgehend von der Objektebene 1 bis zum Zwischenbild 4, auf der Wandlerschicht wird auch als erstes Subsystem bezeichnet und basiert vollständig auf der EUV-Strahlung.

Das so erzeugte Zwischenbild 4 kann beispielsweise von einem zweiten Subsystem weiter vergrößert werden. Das zweite Subsystem kann hierbei sowohl auf der EUV-Strahlung als auch einer anderen Wellenlänge basieren.

10

Von der Wandlerschicht (Zwischenbild 4) wird die EUV-Strahlung beispielsweise in VIS-Strahlung umgewandelt. Diese VIS-Strahlung wird von einer als zweites Subsystem eingesetzten weiteren Abbildungsoptik 8, welche gleichzeitig als Fenster der Vakuumkammer 10 ausgebildet ist, auf einen Kamerachip 9 abgebildet. Der Kamerachip 9 dient der Kontrolle der Bestrahlung.

20 Mit der erfindungsgemäßen Anordnung wird ein Abbildungssystem zur Verfügung gestellt, welches die im Stand der Technik bekannten Nachteile vermeidet und eine hohe Abbildungsgüte gewährleistet. Der Fertigungsaufwand bleibt durch die ausschließlich Verwendung sphärischer Spiegel vertretbar.

25 Die mikroskopische Untersuchung von Objekten mit Röntgenstrahlung, insbesondere mit extrem ultravioletter (EUV) Strahlung wird vor allem in Halbleiterindustrie immer wichtiger. Kleiner Strukturgrößen fordern konsequenterweise immer höhere Auflösungen, welche nur durch eine Verkürzung der Untersuchungswellenlänge erreicht werden kann. Besonders wichtig ist dies bei der mikroskopischen Inspektion von Masken für den Lithographieprozess.

30

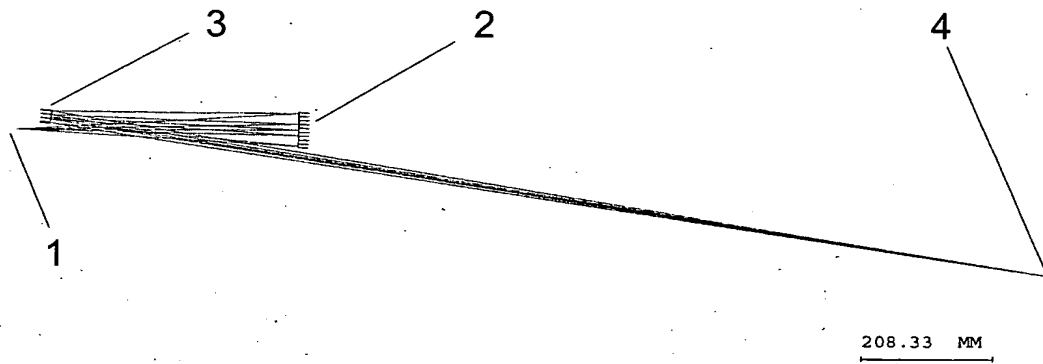
Besonders wichtig wird die Röntgenmikroskopie bei Verfahren, wie beispielsweise dem sogenannten AIMS (Aerial Imaging Measurement). Bei

dem AIMS Verfahren wird der Lithographiestepper durch eine preisgünstigere und einfachere mikroskopische Anordnung simuliert. Wichtig dabei ist, dass die Abbildung mit der gleichen Wellenlänge von z. B. 13,5nm, den gleichen Beleuchtungsbedingungen und der gleichen Bildgüte wie bei einem EUV-Stepper erzeugt wird. Im Gegensatz zum Stepper ist aber das Bildfeld mit ca. 10µm statt mehrere mm wesentlich kleiner. Ein weiterer Unterschied ist, dass die Maske typischerweise 10 - 1000fach vergrößert auf eine Kamera abgebildet werden.

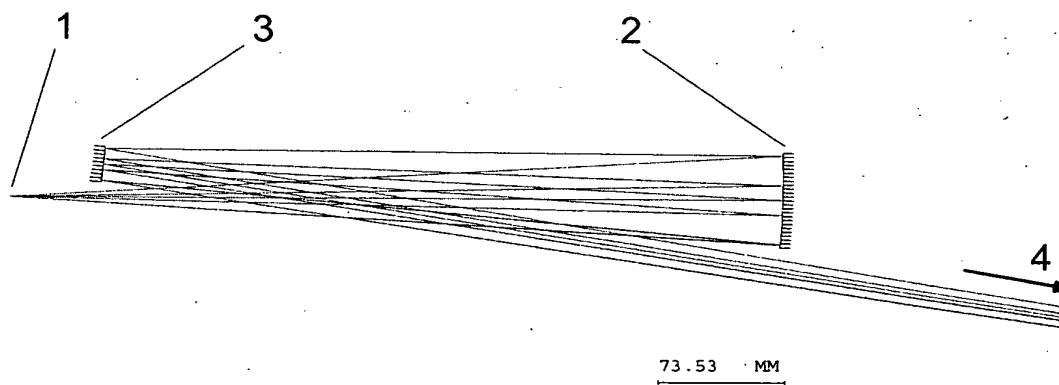
## Patentansprüche

- 5 1. Abbildungssystem für ein, auf extrem ultravioletter (EUV) Strahlung basierendem Mikroskop mit Wellenlängen im Bereich  $< 100\text{nm}$ , mit einer Vergrößerung von  $0,1 - 1000\times$  und einer Baulänge  $< 5\text{m}$ , bei dem mindestens eines der im Strahlengang vorhandenen abbildenden optischen Elemente eine diffraktiv-reflektive Struktur aufweist.
- 10 2. Abbildungssystem nach Anspruch 1, bei dem die diffraktiv-reflektive Struktur auf einer sphärischen oder einer planen Grundfläche aufgebracht ist und eine nicht rotationssymmetrische, asymmetrische Form aufweist.
- 15 3. Abbildungssystem nach Anspruch 1 und 2, bei dem die sphärischen Grundflächen konkav oder konvex ausgeprägt ist.
- 20 4. Abbildungssystem nach mindestens einem der vorgenannten Ansprüche, bei dem zwei abbildenden optischen Elemente mit jeweils einer diffraktiv-reflektiven Struktur versehen sind, wobei das erste abbildende optische Element eine konkave und das zweite abbildende optische Element eine konvexe sphärische Grundfläche für die jeweilige diffraktiv-reflektive Struktur aufweisen.
- 25 5. Abbildungssystem nach mindestens einem der vorgenannten Ansprüche, bei dem die optische Achse des Abbildungssystems zur Objektnormalen geneigt ist.
- 30 6. Abbildungssystem nach mindestens einem der vorgenannten Ansprüche, bei dem die abbildenden optischen Elemente so angeordnet sind, dass sich die optischen Wege mindestens einmal kreuzen.

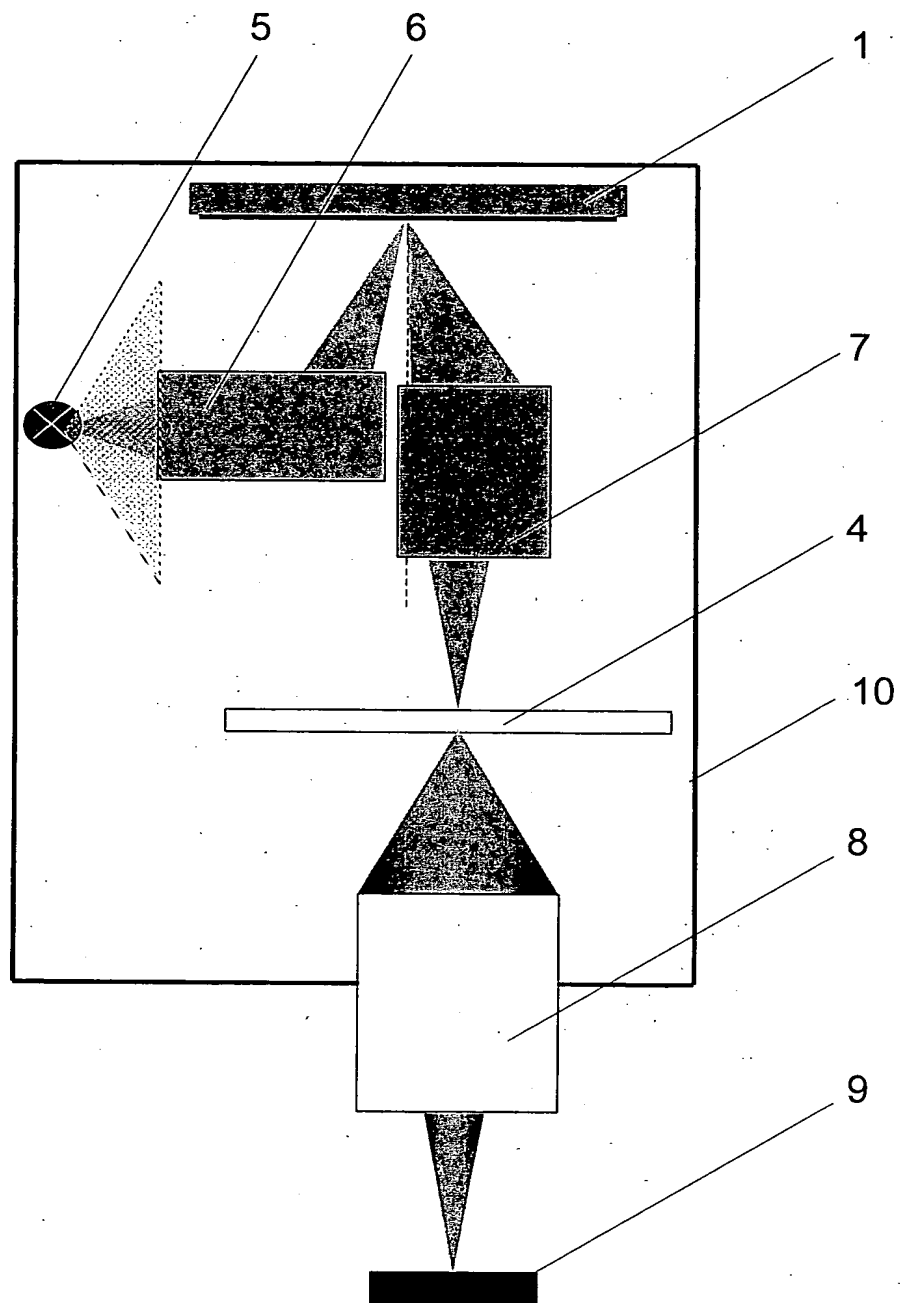
7. Abbildungssystem nach mindestens einem der vorgenannten Ansprüche, bei dem die abbildenden optischen Elemente so angeordnet sind, dass sich die optischen Wege nicht kreuzen.
- 5 8. Abbildungssystem nach mindestens einem der vorgenannten Ansprüche, bei dem ein weiteres Abbildungssystem nachgeordnet wird, um eine Gesamtvergrößerung von 5 - 10000x zu realisieren.
- 10 9. Inspektionssystem für Lithographiemasken basierend auf einem Abbildungssystem nach mindestens einem der vorgenannten Ansprüche, bei dem ein erstes abbildendes optisches Element mit sphärisch konkaver Grundfläche eine diffraktiv-reflektiv wirkende Struktur mit ca. 240 Linien/mm und ein zweites abbildendes optisches Element mit sphärisch konvexer Grundfläche eine diffraktiv-reflektiv wirkende Struktur mit ca. 660 Linien/mm aufweisen und sich die optischen Wege einmal  
15 kreuzen.



**Figur 1**



**Figur 2**



Figur 3



Customer No. 026418

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

Docket No. GK-ZEI-3214 / 500343.20225

Applicant(s): Hans-Juergen DOBSCHAL, Thomas SCHERUEBL, Robert BRUNNER,  
Norbert ROSENKRANZ and Joern GREIF-WUESTENBECKER

Application No.: 10/626,130

Group:

Filed: July 24, 2003

For: IMAGING SYSTEM FOR A MICROSCOPE BASED ON  
EXTREME ULTRAVIOLET (EUV) RADIATION

**ENGLISH TRANSLATION  
OF  
GERMAN APPLICATION  
AS FILED**



TRANSLATOR'S CERTIFICATE

I, Daniel Cooper, residing at 1310 Felicity Street, New Orleans, Louisiana 70130,  
declare:

That I am thoroughly conversant with the German and English languages;

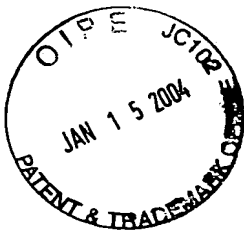
That I have carefully made the attached translation from the original document,  
written in the German language;

That the attached translation is a true and correct English version of such original, to  
the best of my knowledge and belief;

I further declare that all statements made herein of my own knowledge are true and  
that all statements made on information and belief are believed to be true; and further that  
these statements were made with the knowledge that willful false statements and the like so  
made are punishable by fine or imprisonment, or both, under Section 1001 of Title 18 of the  
United States Code and that such willful false statements may jeopardize the validity of the  
patent or trademark.

  
Daniel Cooper

Dated: September 30, 2003



IMAGING SYSTEM FOR A MICROSCOPE BASED ON  
EXTREME ULTRAVIOLET (EUV) RADIATION

CROSS-REFERENCE TO RELATED APPLICATIONS

[0001] The present invention is directed to a reflective imaging system for an x-ray microscope for examining an object in an object plane, wherein the object is illuminated by rays of a wavelength of less than 100 nm, particularly less than 30 nm, and is imaged in a magnified manner in an image plane.

[0002] Microscopic examination of objects by x-ray radiation is becoming increasingly important especially in the semiconductor industry. Smaller structure sizes consistently require increasingly higher resolutions which can only be achieved by shortening the examination wavelength. This is particularly important in microscopic inspection of masks for the lithography process. Lithography with extreme ultraviolet (EUV) radiation represents the most promising solution for chip fabrication in the coming years.

[0003] Numerous different technical solutions for x-ray microscopes are known in the prior art.

[0004] U.S. Applications 5,222,113; 5,311,565; 5,177,774 and EP 0 459 833 show x-ray microscopes in which zone plates are provided in the projection optics for imaging. These Fresnel zone plates are wave-optic imaging elements in which the light is diffracted at a system of concentrically arranged circular rings. The disadvantage in using Fresnel zone plates in the imaging systems with a plurality of optical elements in the area of the x-ray radiation is that Fresnel zone plates are transmissive component parts which result in large light losses because of the poor transmission in the x-ray range.

[0005] U.S. Patents 5,144,497; 5,291,339 and 5,131,023 concern x-ray microscopes in which Schwarzschild systems are used as imaging systems. In these x-ray microscopes, the beam paths are laid out telecentric to the object under examination, which makes reflective imaging of objects difficult.

[0006] Another disadvantage in systems of the type mentioned above for use in examination of objects, particularly those used in the field of x-ray lithography, is their large

structural length for achieving a sufficient imaging scale. This makes it more difficult to use them, for example, in inspection systems for examining masks in EUV projection exposure installations.

[0007] US 6469827 and US 5022064 disclose the use of diffractive elements for spectral selection through diffraction of x-ray radiation. In both of these references, however, these elements are only used for spectral separation and selection of x-ray radiation and not for correcting or improving imaging characteristics. This system is also laid out telecentric to the object, which impedes reflective imaging of objects.

[0008] The use of a diffractive optical element with a refraction-reinforcing and achromatizing effect for an objective, particularly a microscope objective, is described in DE-OS 101 30 212. However, an objective of this kind can not be used for EUV radiation because of the transmissive optical elements. Since EUV radiation, in contrast to UV radiation, is absorbed to a very great extent in virtually all materials, the use of optical components relying on transmission is not possible.

[0009] A reflective x-ray microscope for examining an object for microlithography in an object plane with radiation having a wavelength of less than 100 nm, particularly less than 30 nm, is known from JP 2001116900. The x-ray microscope disclosed in this application is a Schwarzschild system with a concave first mirror and a convex second mirror. In contrast to the systems described above, the beam path for examining the object is not telecentric to the object, so that reflective examination, e.g., of EUV reflection masks, is possible. A disadvantage in this system consists in the very large structural length for achieving large imaging scales.

[0010] Another x-ray microscope arrangement is described, for example, in the applications DE 102 20 815 and DE 102 20 816. In these applications, the imaging optics are designed as a purely reflective system and optimized with respect to small structural length with high magnifications. This is achieved through the use of highly aspherical mirrors, among other things. A disadvantage in these arrangements is that the manufacturing tolerances for the aspherical mirrors are extremely exacting in order to achieve high image quality and demanding requirements must therefore be imposed on the manufacturing technology and measuring technique.

[0011] The object of the present invention is to develop an imaging system for an x-ray

microscope which avoids the disadvantages known in the prior art. Further, a high imaging quality is achieved at a reasonable manufacturing cost.

[0012] According to the invention, this object is met by the characterizing features of the independent claims. Preferred further developments and constructions are the subject of the dependent claims.

[0013] The proposed imaging system contains all of the optical elements associated with imaging optics and generates a corresponding intermediate image by means of extreme ultraviolet (EUV) radiation. This can be further processed, i.e., further magnified, by additional imaging systems.

[0014] The imaging system according to the invention can be used, for example, in photolithography through the use of EUV radiation of 13.5 nm.

[0015] The invention will be described in the following with reference to an embodiment example.

[0016] Figure 1 shows a beam path in the first subsystem of the microscope;

[0017] Figure 2 shows an enlarged section of the beam path in the first subsystem of the microscope; and

[0018] Figure 3 shows a schematic overview of an inspection system for lithography masks based on EUV radiation.

[0019] In the imaging system according to the invention for a microscope based on extreme ultraviolet (EUV) radiation with wavelengths in the range of less than 100 nm with a magnification of 0.1x to 100x and a structural length of less than 5 m, at least one of the imaging optical elements 2 and 3 in the beam path has a diffractive-reflective structure. The diffractive-reflective structure is arranged on a spherical or plane area of one or both of the imaging optical elements 2 and 3. Concave or convex curvatures are possible as spherical areas.

[0020] The diffractive-reflective structures have a non-rotationally symmetric, asymmetric shape. In this specific case, the structures are asymmetric in the meridian plane (corresponds to the drawing plane) and are symmetric vertical to this plane. The diffractive-reflective structures can be described, for example, by the following polynomial of the phase distribution  $\varphi$ :  $\varphi(x, y) = \sum a_i x^m y^n$ , where x, y are coordinates;  $a_i$  are coefficients; I is the

summation index; and m, n are whole numbers.

[0021] In order to realize a total magnification of 5x to 1000x, the first imaging system is followed by another imaging system. The second imaging system can be based on x-ray imaging, electrooptical imaging, or imaging using a radiation above 200 nm. In the simplest case, the second imaging system can also be another imaging optical element with a spherically convex area without a diffractively acting structure.

[0022] The imaging system according to the invention is preferably provided for wavelengths in the range of less than 30 nm with a magnification of 5x to 1000x and a structural length of less than 3 m.

[0023] In another embodiment, the imaging system has two imaging optical elements 2 and 3, each with a diffractive-reflective structure. The first imaging optical element 2 has a concave area and the second imaging optical element 3 has a convex area for the respective diffractive-reflective structure. The imaging optical elements 2 and 3 are arranged in such a way that the optical paths intersect once. Further, the optical axis of the imaging system is inclined toward the object normal.

[0024] The imaging optical elements 2 and 3 can also be arranged in such a way that the optical paths do not intersect.

[0025] In a particularly advantageous construction, the imaging system according to the invention can be used as the basis for an inspection system for lithography masks. For applications in lithography, work is concentrated at wavelengths around 13.5 nm because efficient optics for the required exposure systems can only be produced at these wavelengths.

[0026] The first imaging optical element 2 with spherically concave area has, for example, a diffractive-reflective active structure with about 240 lines/mm and the second imaging optical element 3 with spherically convex area has a diffractive-reflective active structure with about 660 lines/mm. The imaging optical elements 2 and 3 are arranged in such a way that the optical paths intersect once.

[0027] Figure 1 and Figure 2 (enlarged section) show the corresponding beam paths in the imaging system proceeding from the object 1 under examination over the imaging optical elements 2 and 3 to the generated intermediate image 4. The beam path shown in the drawings refers to an imaging system for a microscope based on extreme ultraviolet (EUV) radiation or a corresponding inspection system for lithography masks.

[0028] Figure 4 shows a schematic overview of an inspection system for lithography masks based on EUV radiation.

[0029] In contrast to UV radiation, EUV radiation is absorbed to a very great degree in virtually all materials. Since the absorption length in air under normal pressure is far below 1 mm, EUV radiation can only propagate virtually without losses under vacuum over the distances needed for EUV lithography.

[0030] Proceeding from the radiation source 5, the EUV radiation is focused by the illumination optics 6 on the object 1. The EUV radiation reflected by the object 1 is focused by the imaging optics 7 as an intermediate image 4 on a converter layer or film. The partial system, according to the invention, from the object plane 1 to the intermediate image 4 to the converter film is also referred to as the first subsystem and is based entirely on EUV radiation.

[0031] The intermediate image 4 generated in this way can be further magnified, for example, by a second subsystem. The second subsystem can be based on EUV radiation as well as on other wavelengths.

[0032] The EUV radiation is converted, for example, into VIS radiation by the converter film (intermediate image 4). This VIS radiation is imaged on a camera chip 9 by additional imaging optics 8 which are used as a second subsystem and which are formed at the same time as a window of the vacuum chamber 10. The camera chip 9 is used for monitoring irradiation.

[0033] The arrangement according to the invention provides an imaging system which avoids the disadvantages known from the prior art and ensures a high imaging quality. The manufacturing cost remains reasonable due to the exclusive use of spherical mirrors.

[0034] Microscopic examination of objects with x-ray radiation, particularly with extreme ultraviolet (EUV) radiation, is becoming increasingly important especially in the semiconductor industry. Smaller structure sizes consistently require increasingly higher resolutions which can only be achieved by shortening the examination wavelength. This is particularly important in microscopic inspection of masks for the lithography process.

[0035] X-ray microscopes are especially important in methods such as AIMS (aerial imaging measurement). In the AIMS method, the lithography stepper is simulated by a more economical and simpler microscope arrangement. In this connection, it is important that the

imaging is generated with the same wavelength of, e.g., 13.5 nm, the same illumination conditions and the same image quality as in a EUV stepper. However, in contrast to the stepper, the image field with approximately 10  $\mu\text{m}$  instead of several mm is substantially smaller. Another difference consists in that the masks are typically imaged on a camera with a magnification of 10x to 1000x.

## PATENT CLAIMS

1. Imaging system for a microscope based on extreme ultraviolet (EUV) radiation with wavelengths in the range of less than 100 nm, with a magnification of 0.1x to 1000x, and with a structural length of less than 5 m, wherein at least one of the imaging optical elements in the beam path has a diffractive-reflective structure.
2. Imaging system according to claim 1, wherein the diffractive-reflective structure is arranged on a spherical or plane area and has a non-rotationally symmetric, asymmetric shape.
3. Imaging system according to claims 1 and 2, wherein the spherical areas are concave or convex.
4. Imaging system according to at least one of the preceding claims, wherein two imaging optical elements are provided respectively with a diffractive-reflective structure, wherein the first imaging optical element has a concave area and the second imaging optical element has a convex area for the respective diffractive-reflective structure.
5. Imaging system according to at least one of the preceding claims, wherein the optical axis of the imaging system is inclined toward the object normal.
6. Imaging system according to at least one of the preceding claims, wherein the imaging optical elements are arranged in such a way that the optical paths intersect at least once.
7. Imaging system according to at least one of the preceding claims, wherein the imaging optical elements are arranged in such a way that the optical paths do not intersect.
8. Imaging system according to at least one of the preceding claims, wherein another imaging system is arranged downstream in order to realize a total magnification of 5x to 10,000x.



9. Inspection system for lithography masks based on an imaging system according to at least one of the preceding claims, wherein a first imaging optical element with spherically concave area has a diffractive-reflective active structure with about 240 lines/mm and a second imaging optical element with spherically convex area has a diffractive-reflective active structure with about 660 lines/mm, and the optical paths intersect once.

## Abstract

[0036] Imaging system for a microscope based on extreme-ultraviolet (EUV) radiation. The present invention is directed to a reflective imaging system for an x-ray microscope for examining an object in an object plane, wherein the object is illuminated by rays of a wavelength of less than 100 nm, particularly less than 30 nm, and is imaged in a magnified manner in an image plane. In the imaging system, according to the invention, for a microscope based on extreme ultraviolet (EUV) radiation with wavelengths in the range of less than 100 nm, with a magnification of 0.1x to 1000x and a structural length of less than 5 m, at least one of the imaging optical elements 2 and 3 in the beam path has a diffractive-reflective structure which is arranged on a spherical or plane area and has a non-rotationally symmetric, asymmetric shape. The arrangement according to the invention provides an imaging system which avoids the disadvantages of the prior art and ensures a high imaging quality. The manufacturing cost remains reasonable due to the exclusive use of spherical mirrors.



MS 007 DE

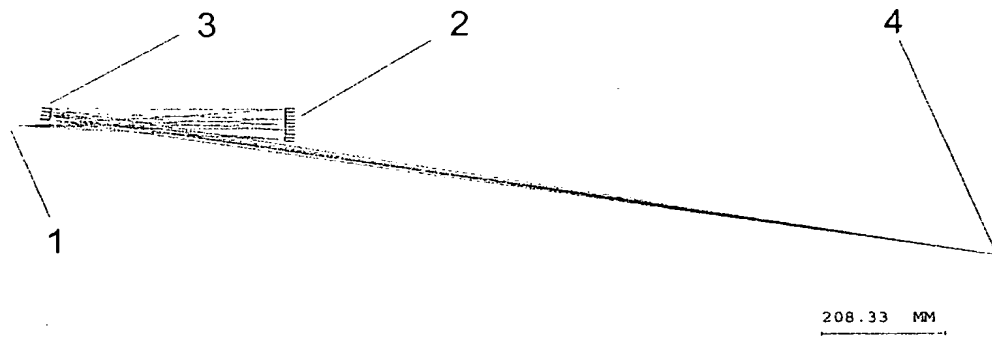


Figure 1

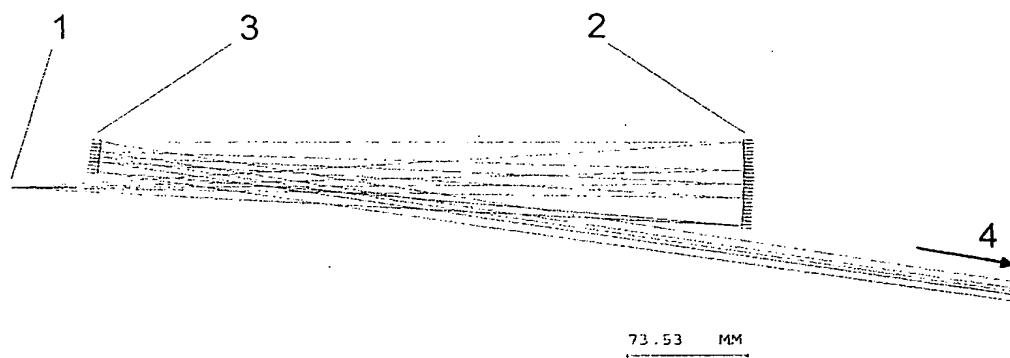


Figure 2

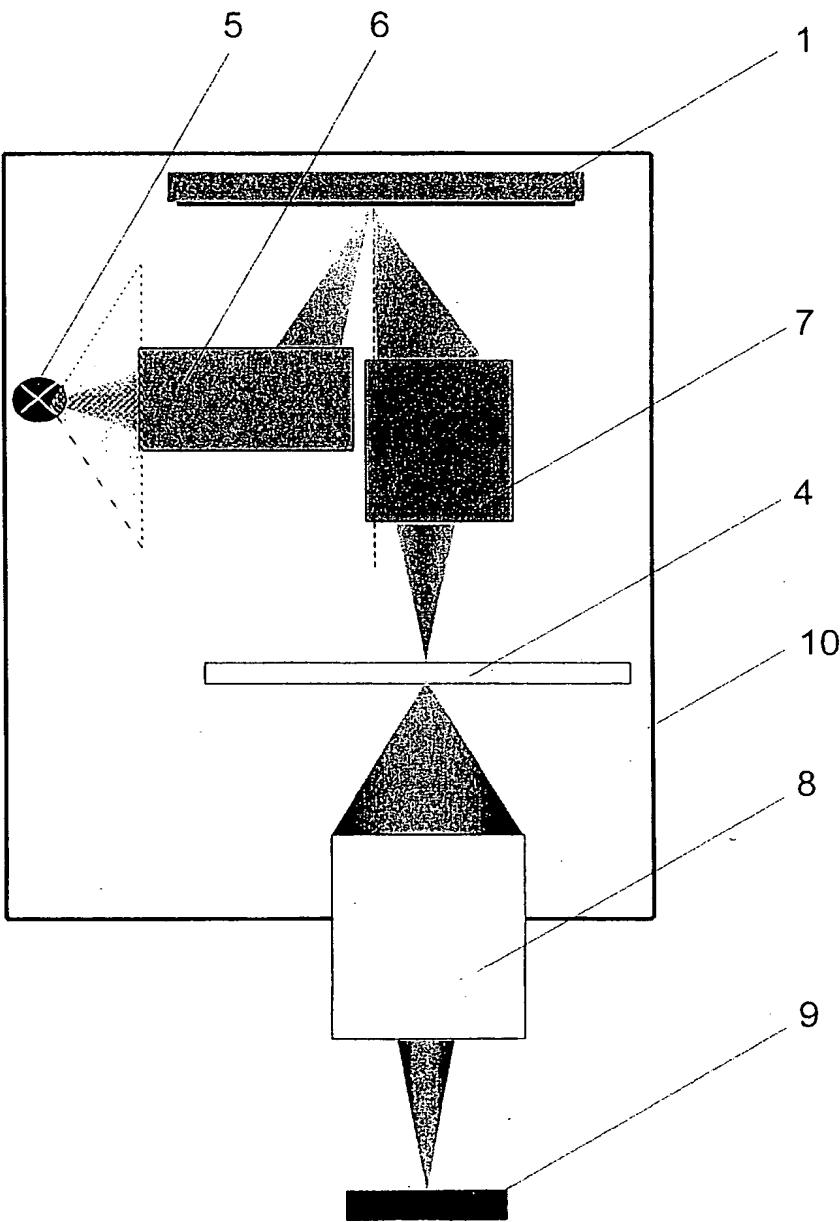


Figure 3